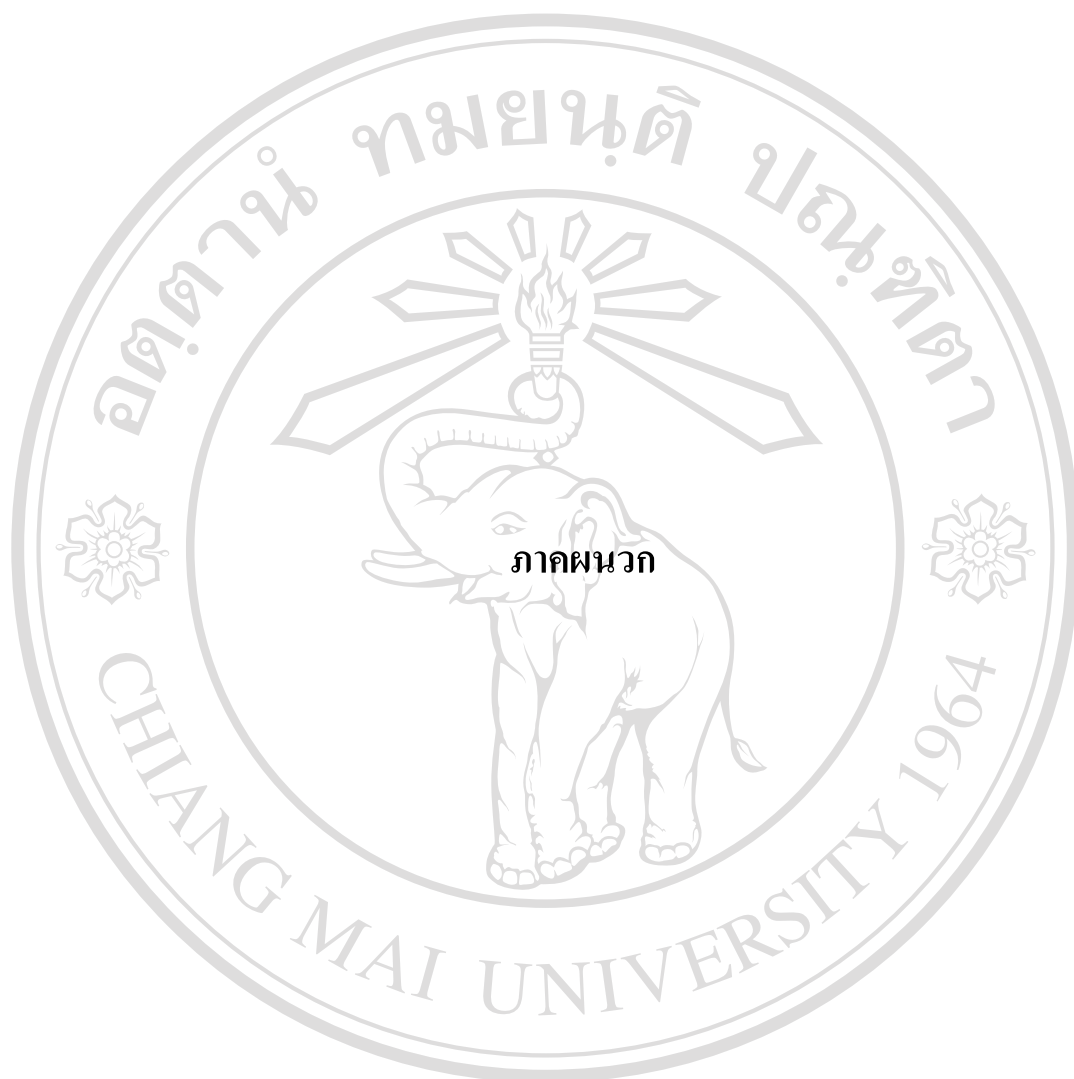




ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาคผนวก ก

รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved

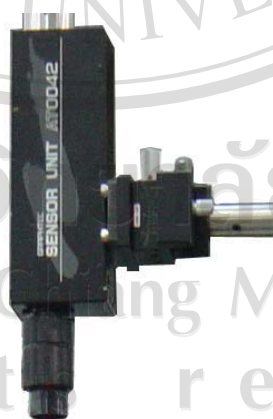
ภาคผนวก ก

รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ

ก.1 เลเซอร์ดอปเปลอร์ (Laser Doppler Vibrometer)

ตาราง ก.1 ข้อมูลจำเพาะหน่วยรับรู้ (Sensor unit)

บริษัท	Graphtec
รุ่น	Sensor unit AT0042
ช่วงวัด	190-1000 มิลลิเมตร
กำลังจากแหล่งจ่าย	2 วัตต์
ความยาวคลื่น	632.8 นาโนเมตร
กำลังของเลเซอร์	1 วัตต์
เส้นผ่านศูนย์กลางของเลเซอร์	ที่ระยะ 200 มิลลิเมตร เท่ากับ 25 ไมโครเมตร ที่ระยะ 400 มิลลิเมตร เท่ากับ 55 ไมโครเมตร



รูป ก.1 หน่วยรับรู้

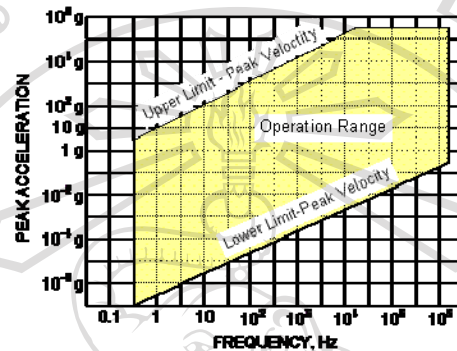
ตาราง ก.2 ข้อมูลจำเพาะหน่วยถอดสัญญาณ (Demodulation unit)

บริษัท	Graphtec
รุ่น	Demodulation unit AT3500
ช่วงความถี่ที่ตอบสนอง	ที่ความเร็ว 10 เมตร/วินาที/โวลต์(x10) เท่ากับ 0-1.3 เมกกะเฮิรตซ์ ที่ความเร็ว 10 ⁻¹ เมตร/วินาที/โวลต์(x1) เท่ากับ 0-1.3 เมกกะเฮิรตซ์ ที่ความเร็ว 10 ⁻² เมตร/วินาที/โวลต์(x0.1) เท่ากับ 0-300 กิโลเฮิรตซ์
ความไว	-36 เดซิเบล เมตร นาที
ค่าอิมพีแดนซ์	50 โอห์ม
ความแม่นยำ	สูงสุด ± 2 เปอร์เซ็นต์ สำหรับไฟกระแสดับ สูงสุด ± 4 เปอร์เซ็นต์ สำหรับไฟกระแสงตรง



รูป ก.2 เครื่องถอดสัญญาณ

เลเซอร์ดอปเปอร์วัดการสั่นหรือที่เรียกว่า LDV นี้ใช้หลักการเปลี่ยนไปแบบดอปเปอร์ของแสงเลเซอร์ (Doppler shift) ที่สะท้อนจากผิวของวัตถุขณะมีการสั่นเพื่อที่จะทำให้เกิดสัญญาณแอนะล็อก (Analog) ขึ้น ณ เวลาหนึ่ง ซึ่งจะมีค่าเป็นสัดส่วนกับความเร็วของวัตถุ ขณะนั้นๆ โดยปกติแล้ว ช่วงการวัดจะอยู่ระหว่าง 0.5 ไมโครเมตรต่อวินาที จนถึง 10 เมตรต่อวินาที ด้วยค่าความแม่นยำ ± 3 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ ก.2



รูป ก.3 ช่วงการทำงานปกติของเลเซอร์ดอปเปอร์

ข้อดีของการใช้ LDV มีดังนี้

1. ไม่มีผลกระทบของมวลหัววัดต่อชิ้นงานที่ต้องการวัดการสั่น
2. ไม่มีผลกระทบจากความไวในแนวขวางการวัดและจากสภาพแวดล้อมอื่นๆ
3. สามารถวัดได้ในระยะใกล้และไกล
4. มีความละเอียดสูงในการวัดโดยขนาดจุดลำแสงที่มีขนาดเล็ก (25 ถึง 55 ไมครอน)
5. ไม่ยุ่งยากในการสอบเทียบเครื่องมือวัด
6. ลำแสงเลเซอร์สามารถใช้วัดแบบกวาดไปทั่วพื้นที่ เพื่อทำให้เกิดภาพจำลองรูปร่าง

โหมด

ชนิดของเลเซอร์ดอปเปอร์สามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภทคือ แบบมาตรฐาน (Standard) แบบกวาด (Scanning) แบบวัดในแนวระนาบ (In-plane) และแบบวัดหมุน (Rotational) โดยในการศึกษาครั้งนี้ ชนิดของเลเซอร์ดอปเปอร์ที่ถูกนำมาใช้เป็นแบบมาตรฐาน ซึ่งจะวัดการสั่นในทิศทางตามแนวลำแสงของเลเซอร์ จากระบบในรูปที่ ก.2 เมื่อชนิดของเลเซอร์ที่ใช้เป็นฮีเลียม-นีออน (He-Ne) ซึ่งเป็นลำแสงสีแดงที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า มีความยาวคลื่น $\lambda = 0.6328 \mu\text{m}$ ลำแสงถูกแบ่งเป็นส่วนอ้างอิงและส่วนสัญญาณการวัด โดยส่วนของสัญญาณที่สะท้อนกลับจากผิววัตถุจะถูกรวมเข้ากับส่วนอ้างอิงทำให้ความยาวคลื่นของสัญญาณการวัดเปลี่ยนไปใน

ลักษณะลำแสงสว่างและมืด สำหรับทุกๆ หนึ่งรอบของการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสง ระยะจัดของวัตถุเป้าหมายจะเท่ากับครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น $\lambda/2$ และได้กำหนดให้ความถี่ดอปเปลอร์

$$F_D = \frac{2V}{\lambda}$$

เมื่อ V เป็นความเร็วในการเคลื่อนที่ของผิววัตถุ

ก.2 เครื่องวิเคราะห์สัญญาณ (Dynamic Signal Analyzer)

ตาราง ก.3 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องวิเคราะห์สัญญาณ

บริษัท	Hewlett Packard
รุ่น	HP 35670A
ช่วงความถี่	51.2 กิโลเฮิร์ตซ์ แบบ 2 ช่องสัญญาณ
ช่วงกว้าง	90 เดซิเบล
ความแม่นยำ	± 0.15 เดซิเบล
ความละเอียดของเส้น	100, 200, 400 และ 800 เส้น



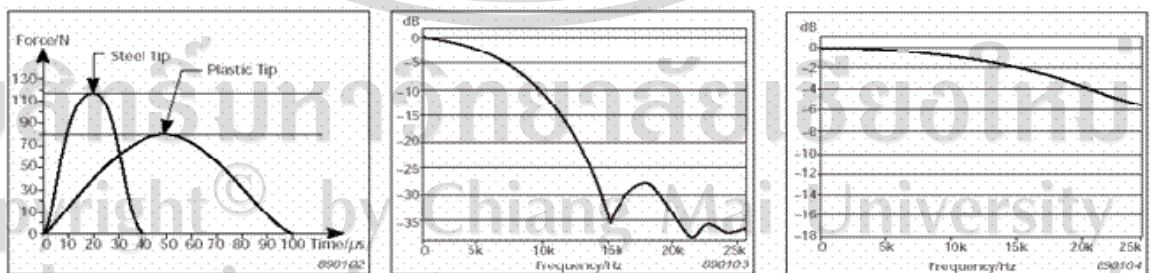
รูป ก.4 เครื่องวิเคราะห์สัญญาณ

ก.3 ค้อนอิมพัลส์ (Impulse Hammer)



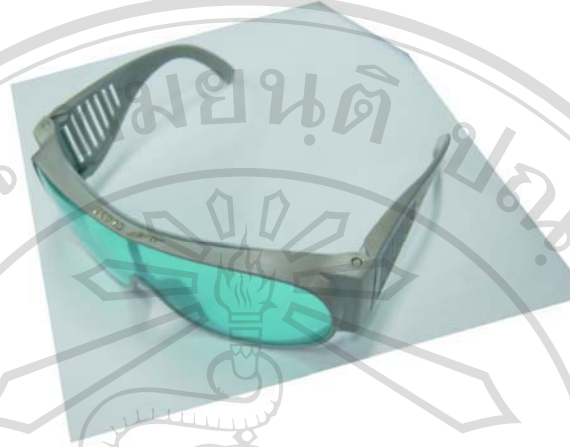
รูป ก.5 ค้อนอิมพัลส์

ค้อนอิมพัลส์เป็นอุปกรณ์หนึ่งที่ถูกนำมาใช้เป็นตัวกระตุ้นชิ้นงานในการทดสอบหาตัวแปรการสั่น โดยสัญญาณการกระแทกจะเป็นสัญญาณชั่วขณะที่เราเรียกว่าพัลส์ ซึ่งช่วงเวลาของพัลส์จะขึ้นอยู่กับความแข็งของหัวค้อนดังแสดงในรูปที่ ก.6



รูปที่ ก.6 (ซ้าย) แสดงรูปร่างพัลส์ของค้อนหัวเหล็กและหัวพลาสติก, (กลาง) สัญญาณแรงกระแทกของค้อนหัวพลาสติกบนแผ่นอลูมิเนียม, (ขวา) เช่นเดียวกับรูปกลางในกรณีของหัวค้อนเหล็ก

ก.4 แว่นป้องกันอันตรายจากลำแสงเลเซอร์



รูป ก.7 แว่นป้องกันอันตรายจากลำแสงเลเซอร์

เป็นอุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากการเพ่งมองลำแสงเลเซอร์ขณะทดลองที่อาจทำให้เกิดผลเสียต่อดวงตา ใช้สวมใส่ในขณะทำการทดลอง

ก.5 โปรแกรมวิเคราะห์ผล (Analysis Software)

ตาราง ก.4 ข้อมูลจำเพาะของโปรแกรมวิเคราะห์ผล

บริษัท	Hewlett Packard
รุ่น	HP 35639A
ชนิดของไฟล์	SDF/DAT File



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างข้อมูลจากการทดลอง

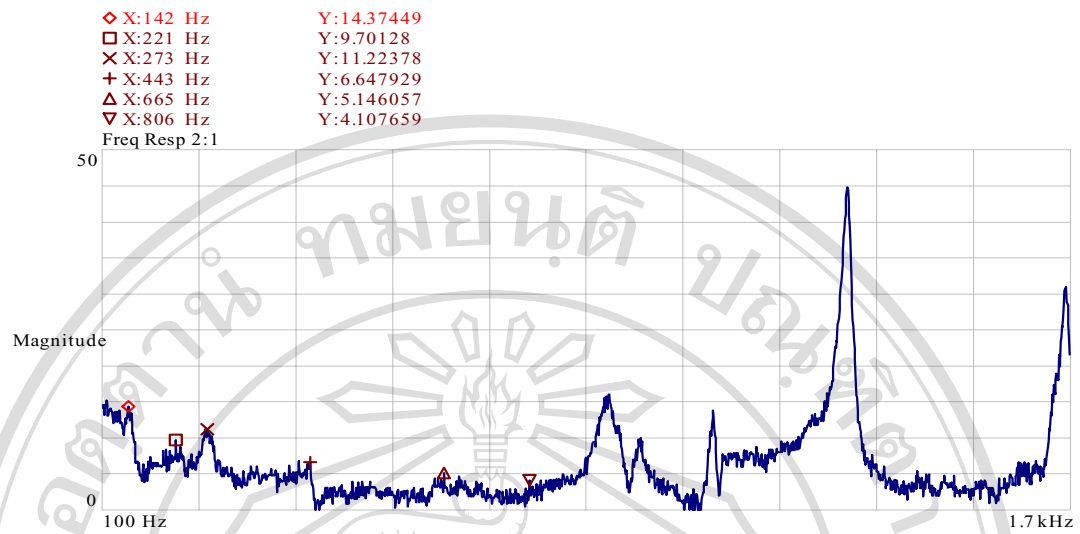
ข้อมูลที่ได้จากการทดลองนี้เป็นข้อมูลบางส่วนที่นำมาแสดงผล ซึ่งความถี่ธรรมชาติและรูปร่างโหมดเป็นผลที่ได้จากข้อมูลกราฟ ซึ่งบันทึกด้วยเครื่องวัดความสั่นสะเทือน โดยสามารถเปลี่ยนแกนตั้งให้อยู่ในค่าขนาด (Magnitude) หรือ ค่าจินตภาพ (Imaginary) และแกนนอนเป็นความถี่ ซึ่งในการหาความถี่ธรรมชาตินั้นหาได้ด้วยการดูจุดยอดแหลมที่เกิดขึ้นว่าตรงที่ตำแหน่งความถี่ใดในกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาด และความถี่ธรรมชาติ ยอดแหลมที่เกิดขึ้นนั้นคือความถี่ธรรมชาติ สำหรับในส่วนของการหารูปร่างโหมดนั้น หาได้จากการนำค่าจินตภาพของความถี่ธรรมชาตินั้นมาพล็อตบนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าจินตภาพและตำแหน่งทดลองที่ความถี่นั้น

ข.1 ตัวอย่างข้อมูลจากการทดลองของใบเลื่อยวงเดือน

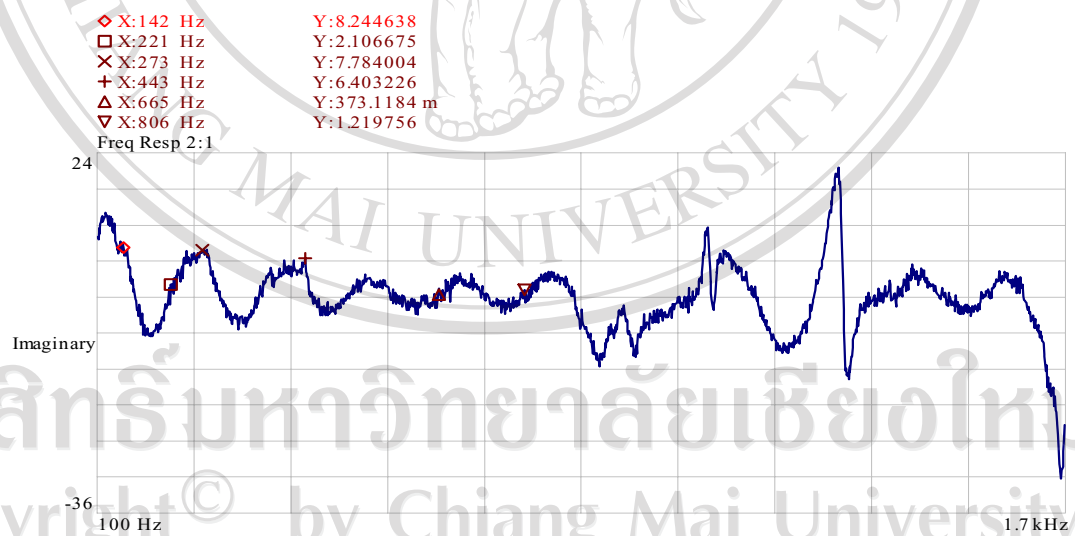


•	ตำแหน่ง 1-1
+	ตำแหน่ง 4-1
◆	ตำแหน่ง 7-1
×	ตำแหน่ง 1-22
*	ตำแหน่ง 4-22
◆	ตำแหน่ง 7-22
★	ตำแหน่ง 1-37
■	ตำแหน่ง 4-37
◆	ตำแหน่ง 7-37

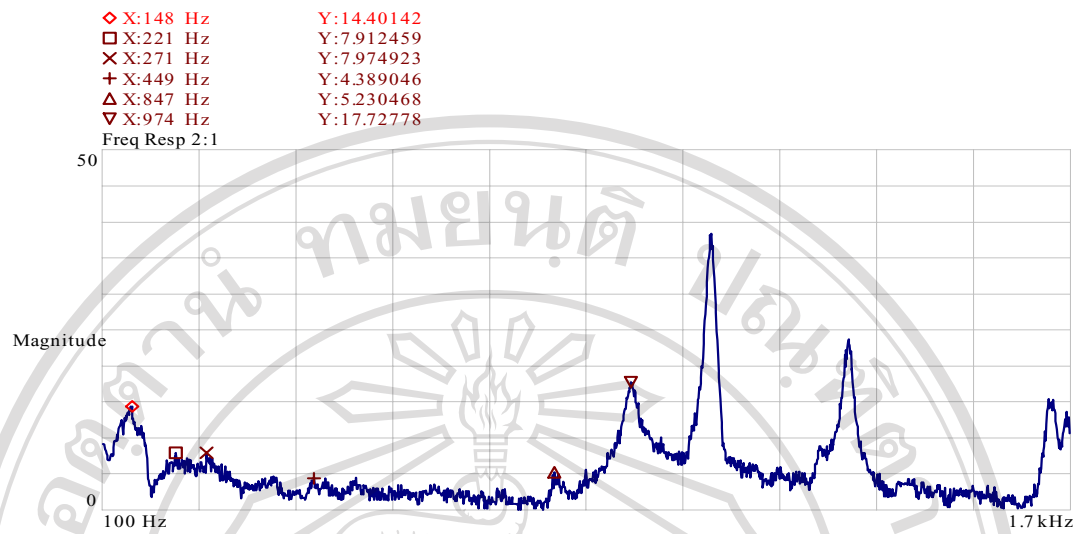
รูป ข.1 ตำแหน่งการทดลอง



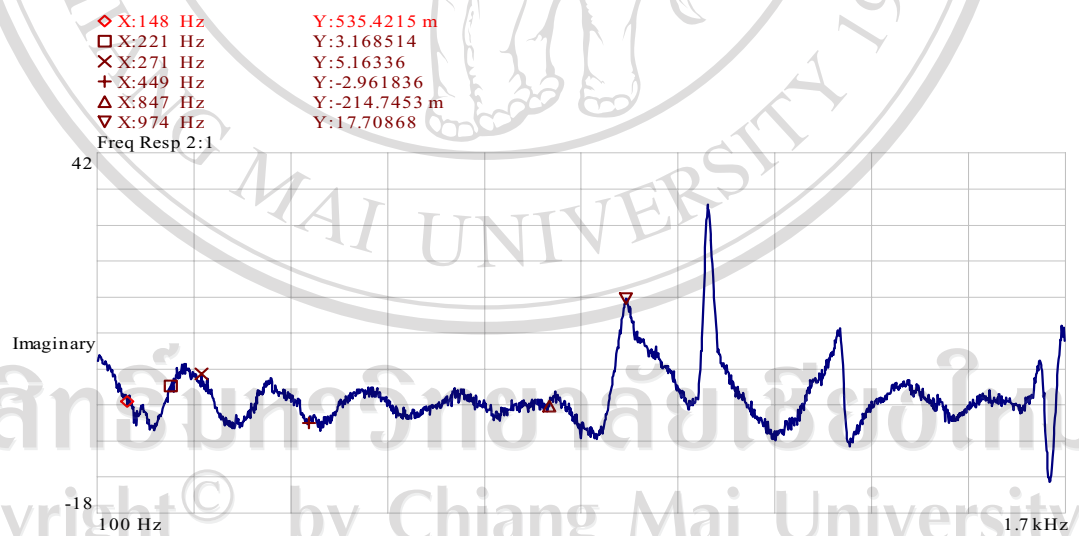
รูป ข.2 ผลการทดลองแสดงขนาดของตำแหน่ง 1-1



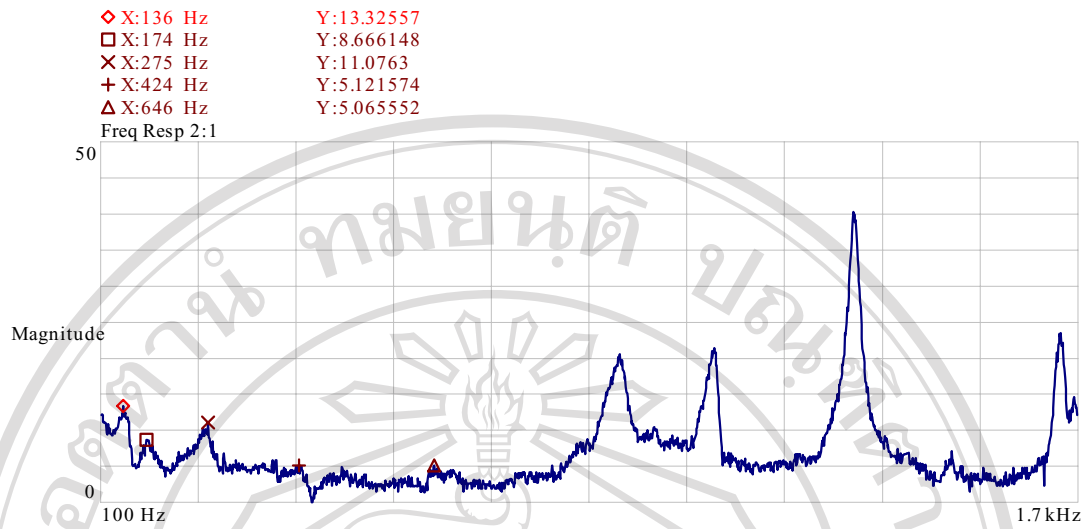
รูป ข.3 ผลการทดลองแสดงค่าจินตภาพของตำแหน่ง 1-1



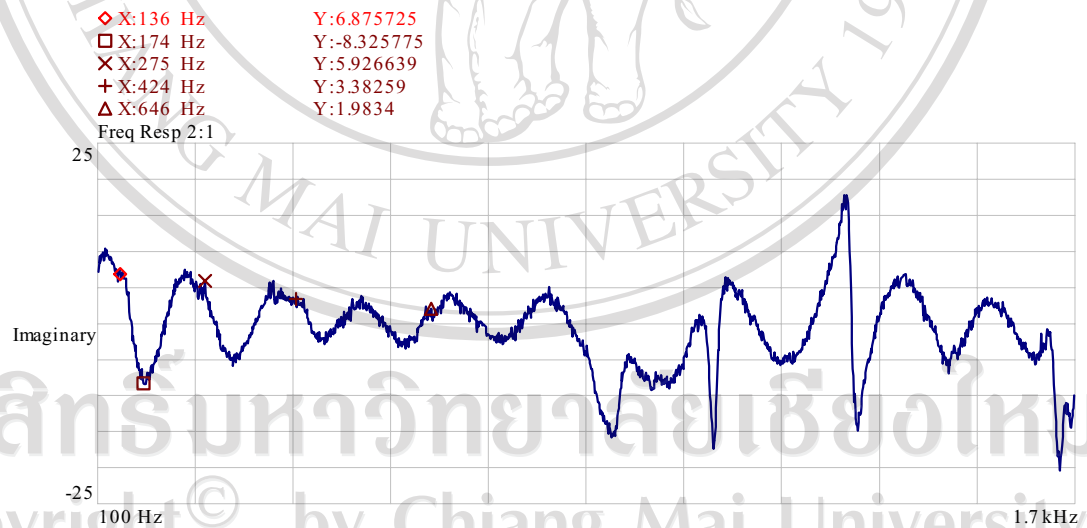
รูป ข.4 ผลการทดลองแสดงขนาด ตำแหน่ง 1-22



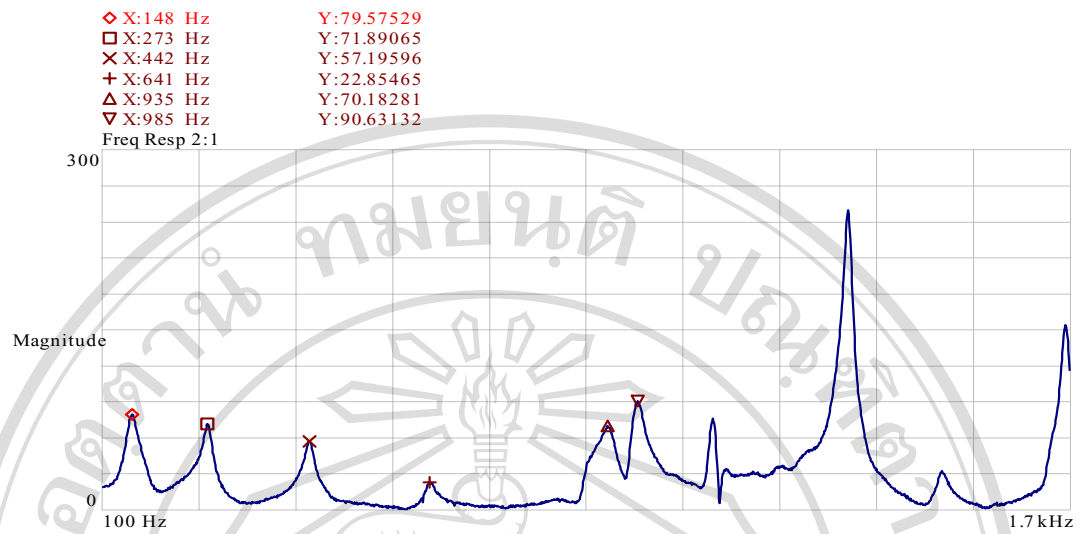
รูป ข.5 ผลการทดลองแสดงค่าจินตภาพตำแหน่ง 1-22



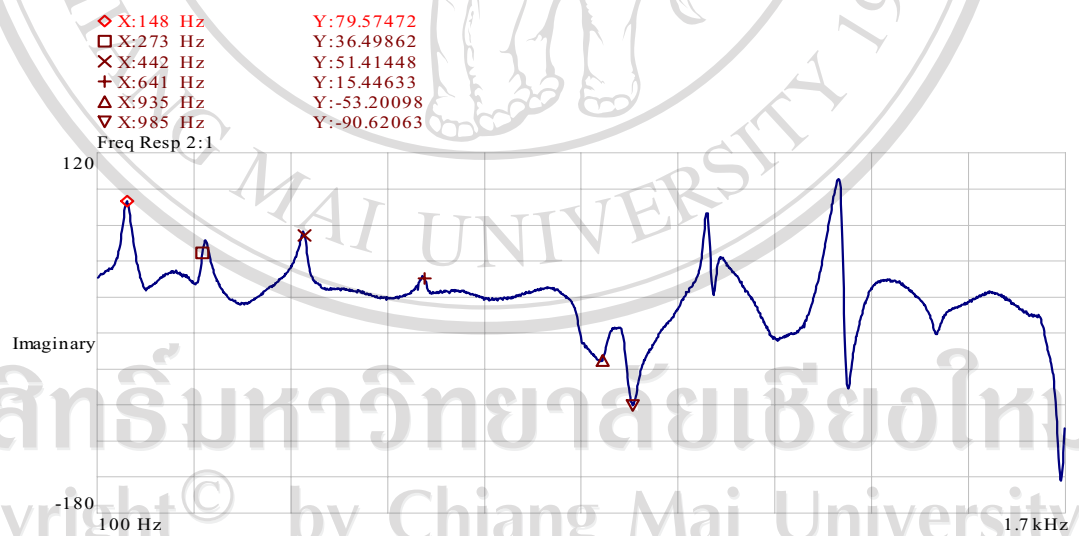
รูป ข.6 ผลการทดลองแสดงขนาดตำแหน่ง 1-37



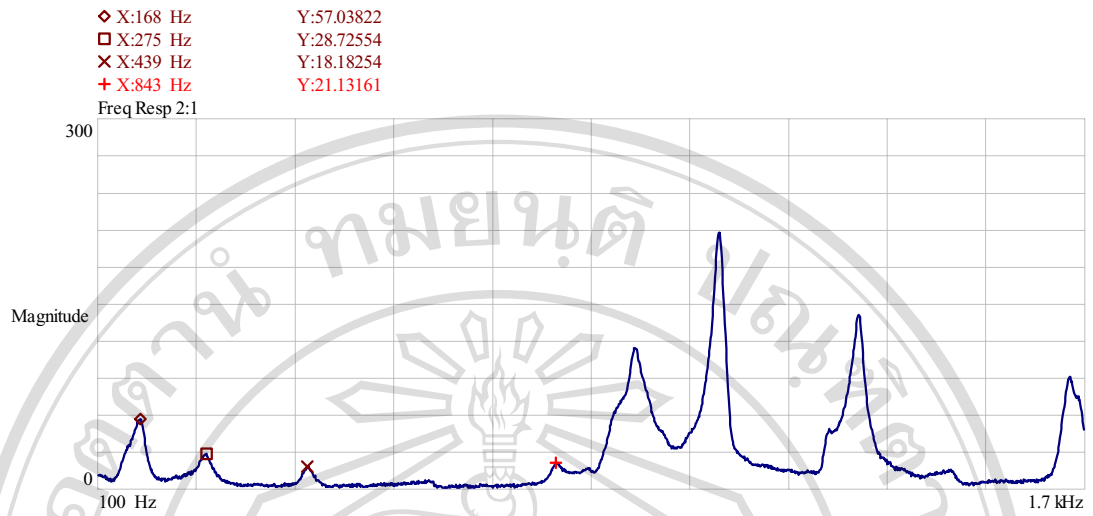
รูป ข.7 ผลการทดลองแสดงค่าจินตภาพตำแหน่ง 1-37



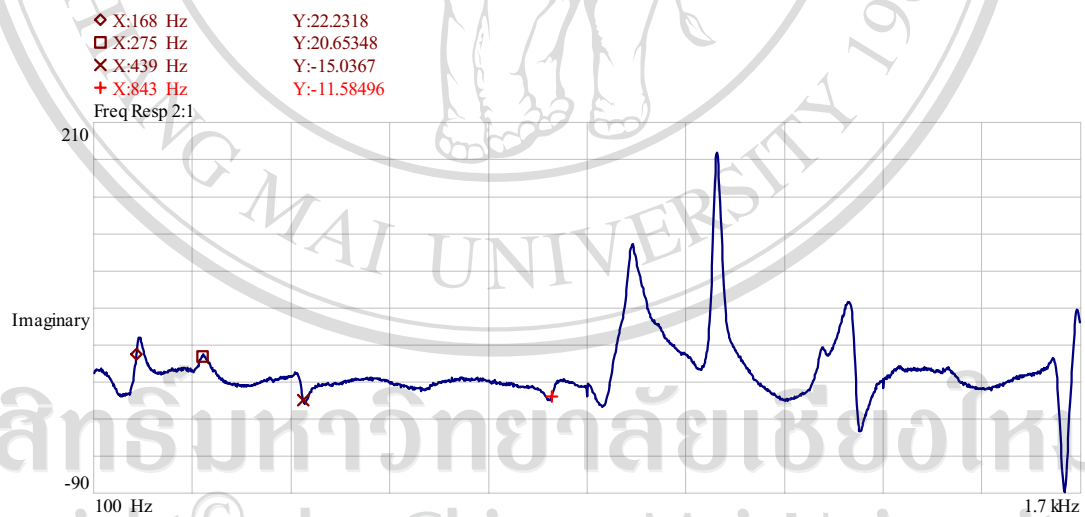
รูป ข.8 ผลการทดลองแสดงขนาดตำแหน่ง 4-1



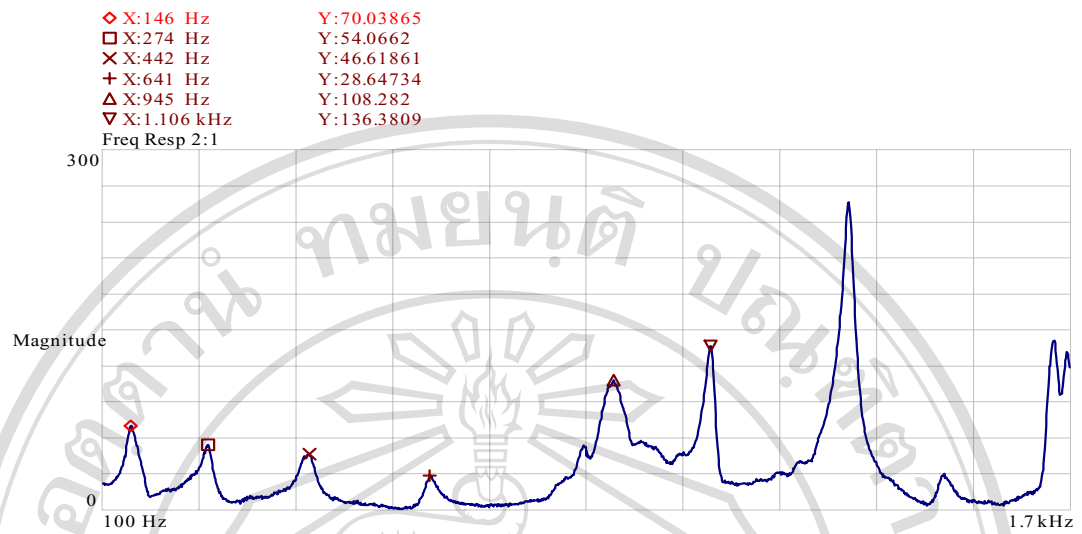
รูป ข.9 ผลการทดลองแสดงค่าจินตภาพตำแหน่ง 4-1



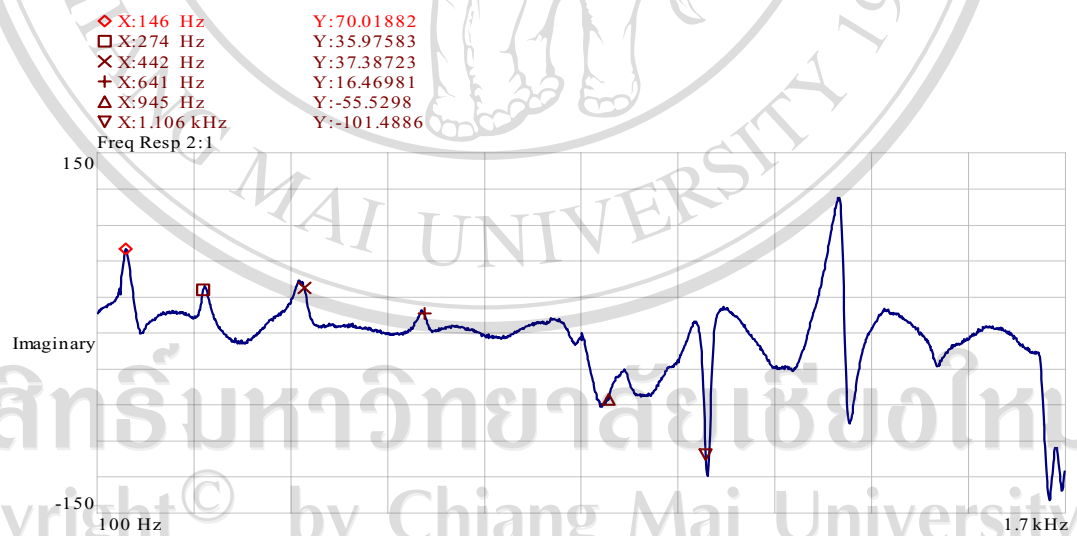
รูป ข.10 ผลการทดลองแสดงขนาดตำแหน่ง 4-22



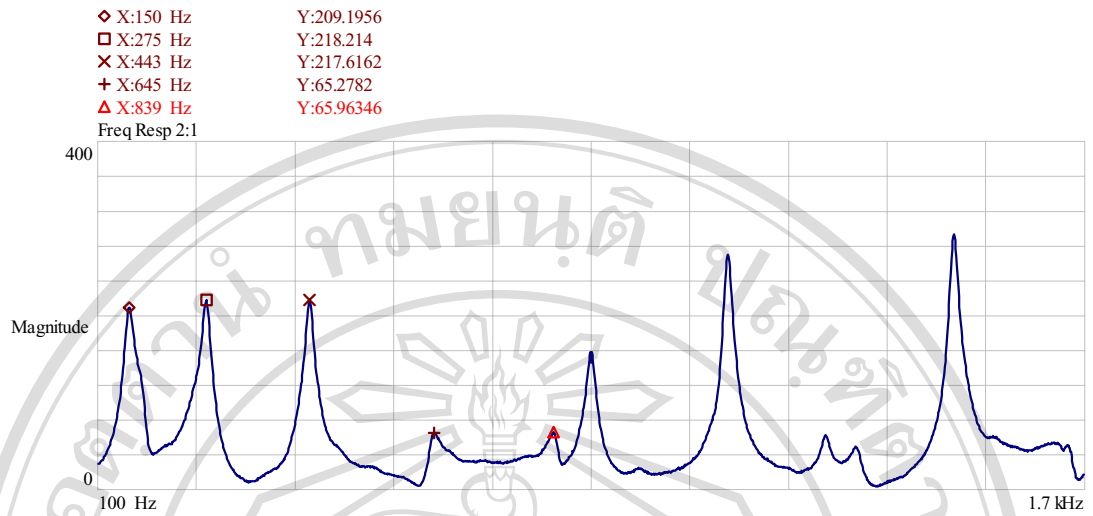
รูป ข.11 ผลการทดลองแสดงค่าจินตภาพตำแหน่ง 4-22



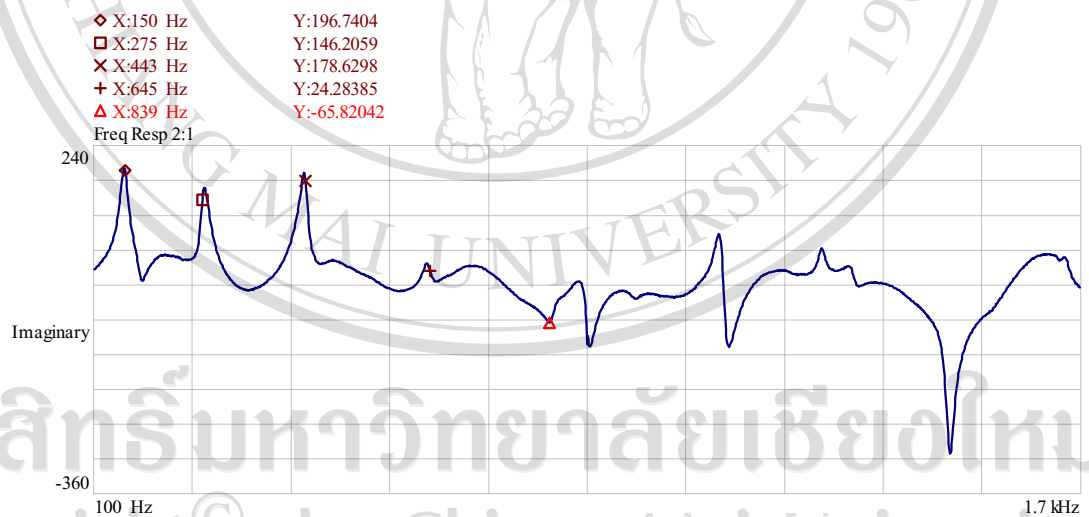
รูป ข.12 ผลการทดลองแสดงขนาดตำแหน่ง 4-37



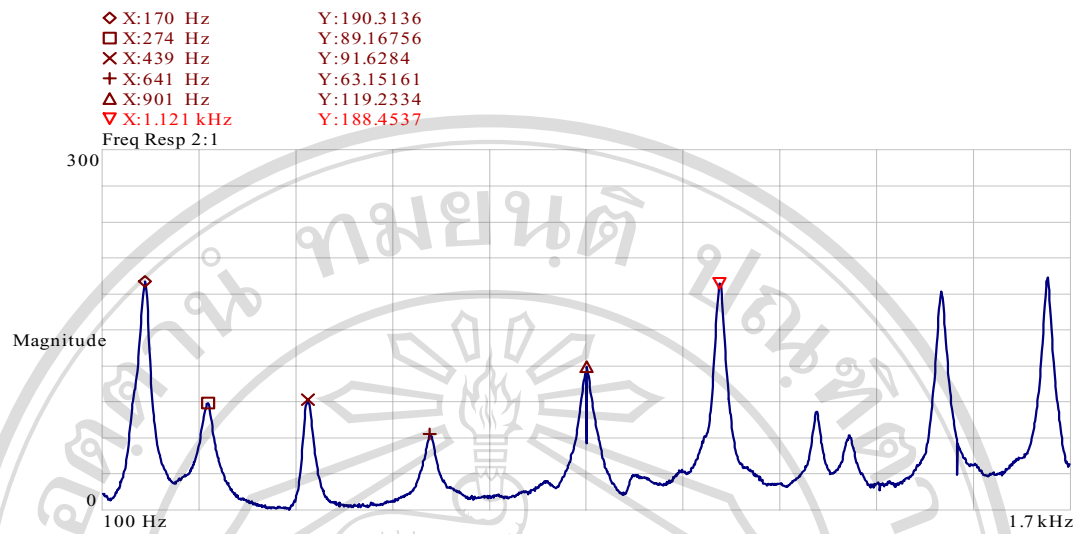
รูป ข.13 ผลการทดลองแสดงค่าจินตภาพตำแหน่ง 4-37



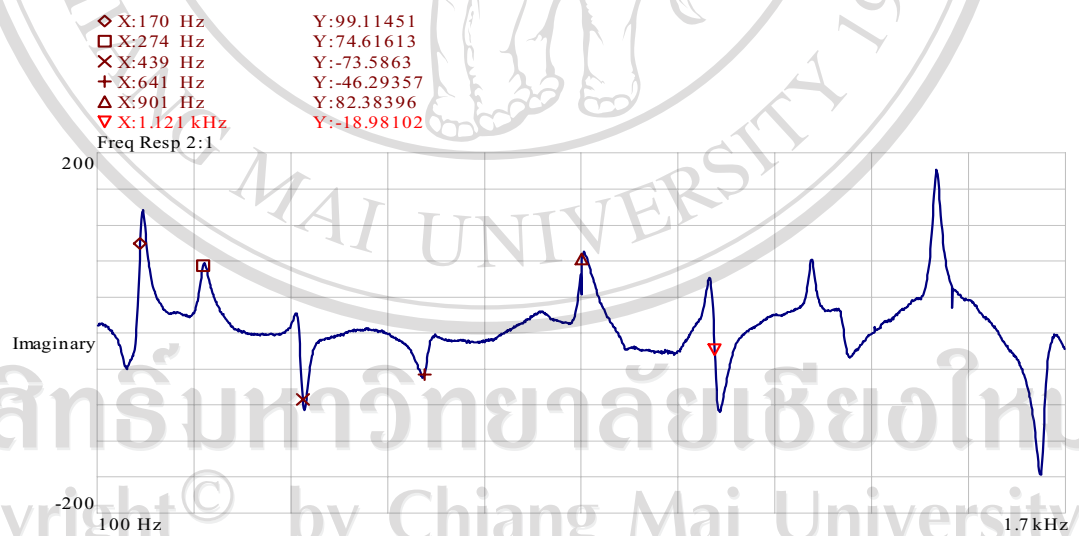
รูป ข.14 ผลการทดลองแสดงขนาดตำแหน่ง 7-1



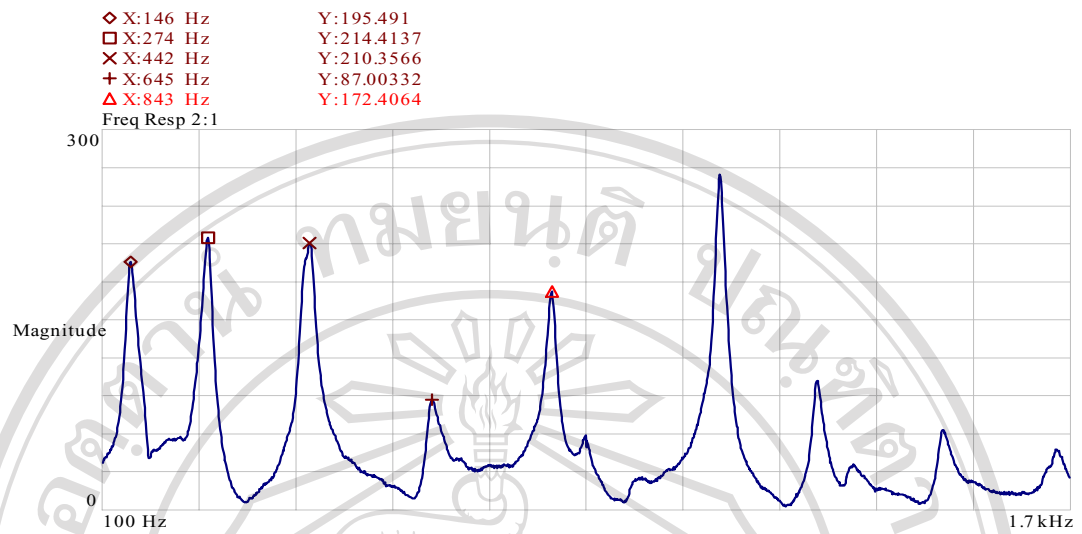
รูป ข.15 ผลการทดลองแสดงค่าจินตภาพตำแหน่ง 7-1



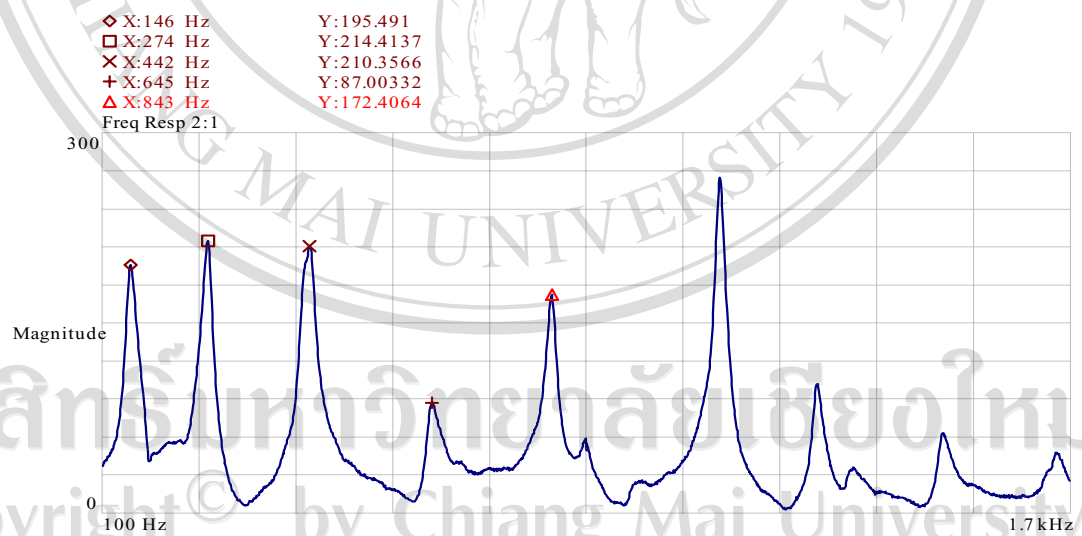
รูป ข.16 ผลการทดลองแสดงขนาดที่ตำแหน่ง 7-22



รูป ข.17 ผลการทดลองแสดงค่าจินตภาพตำแหน่ง 7-22

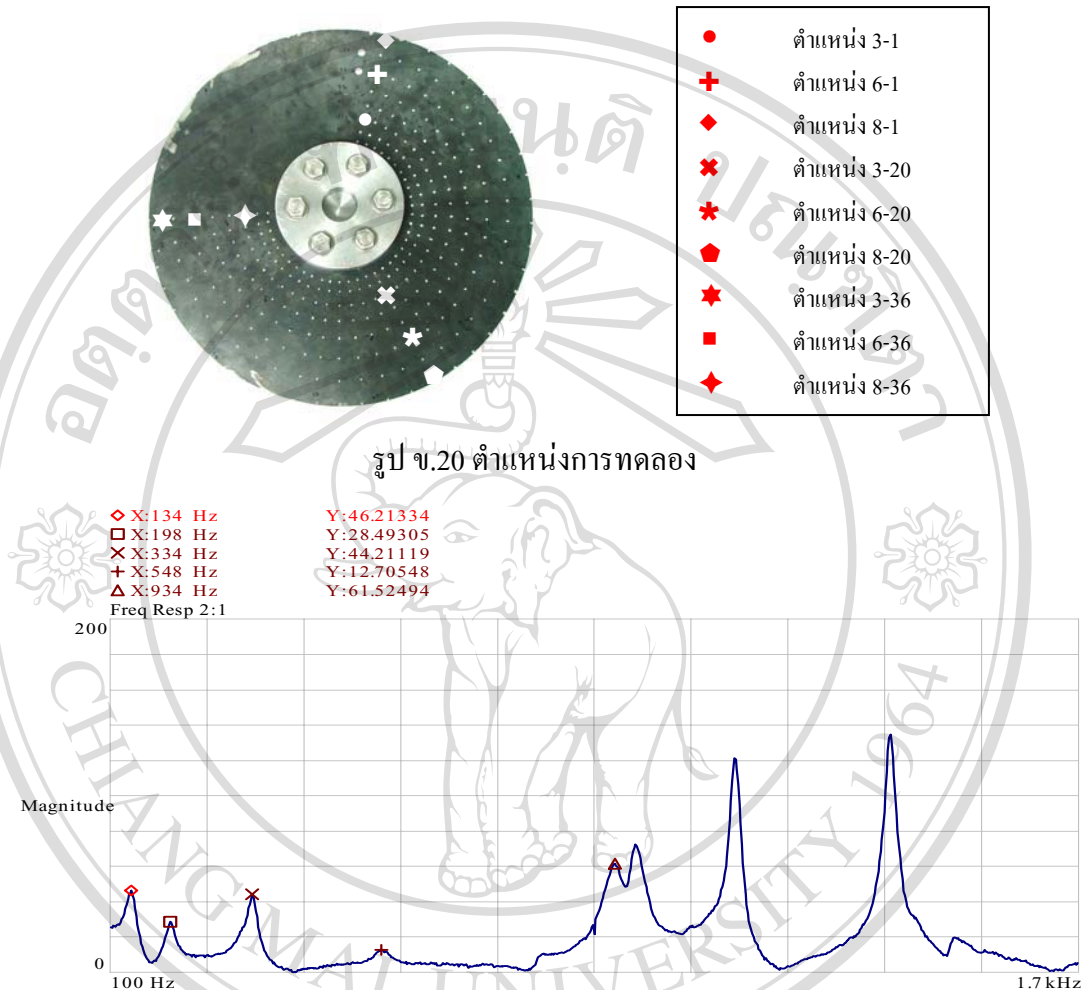


รูป ข.18 ผลการทดลองแสดงขนาดที่ตำแหน่ง 7-37

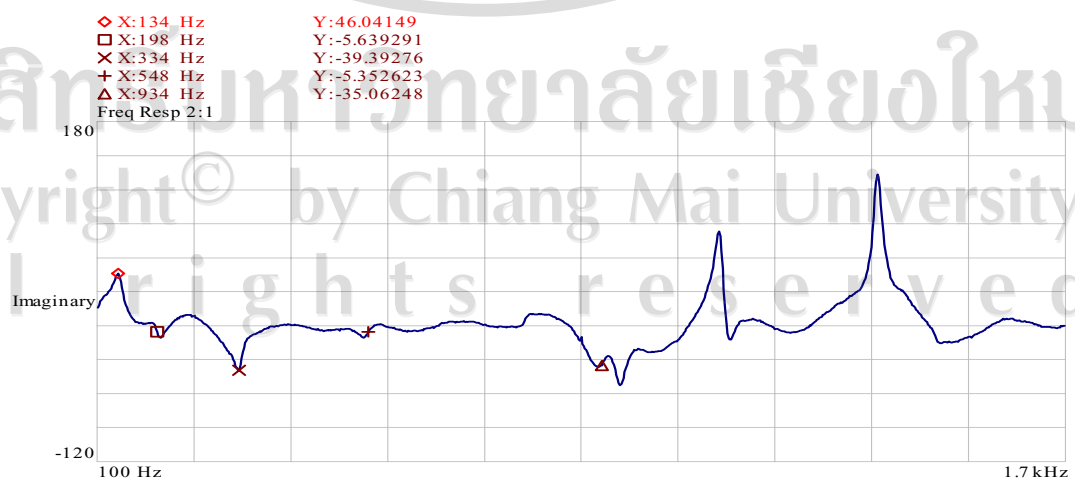


รูป ข.19 ผลการทดลองแสดงค่าจินตภาพตำแหน่ง 7-37

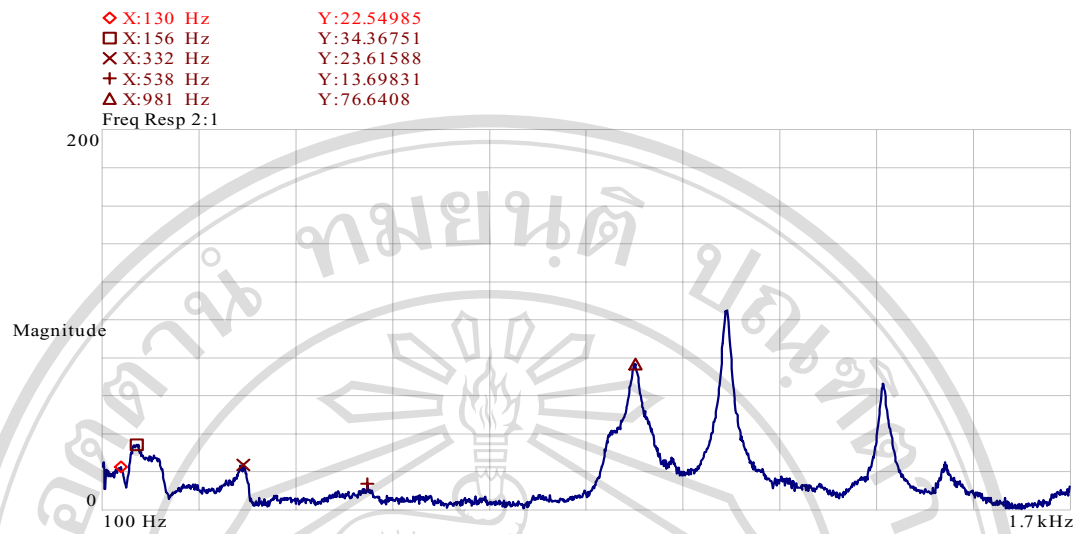
ข.2 ตัวอย่างข้อมูลจากการทดลองของแผ่นบางรูปวงแหวน



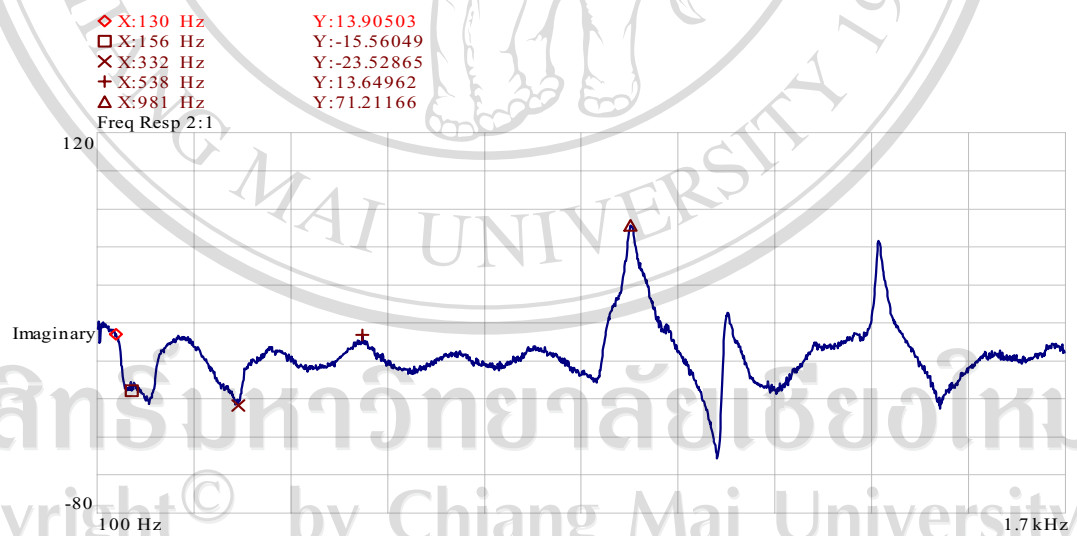
รูป ข.21 ผลการทดลองแสดงขนาดที่ตำแหน่ง 3-1



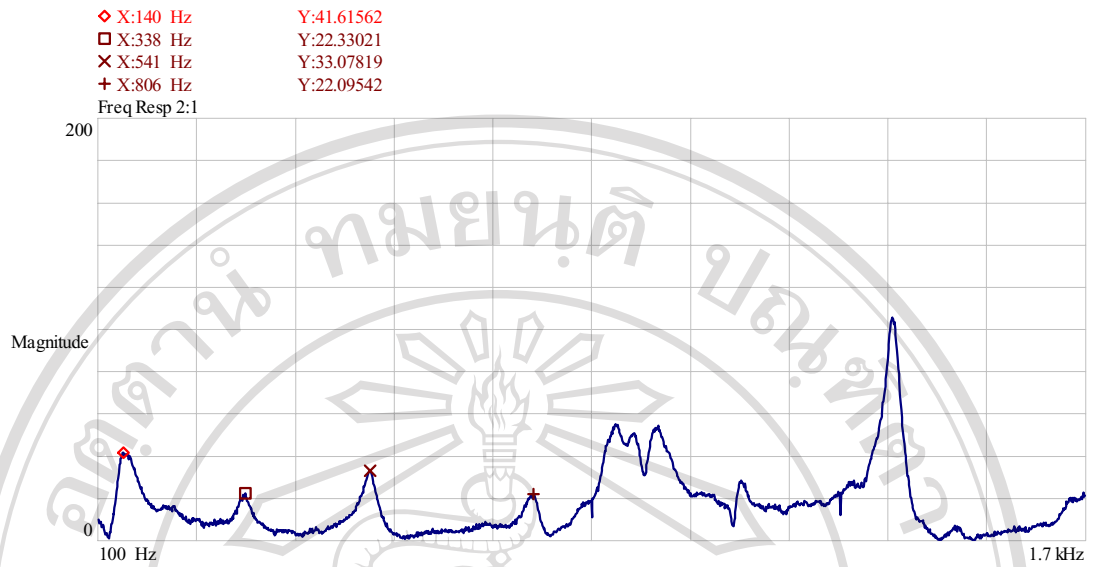
รูป ข.22 ผลการทดลองแสดงค่าจินตภาพที่ตำแหน่ง 3-1



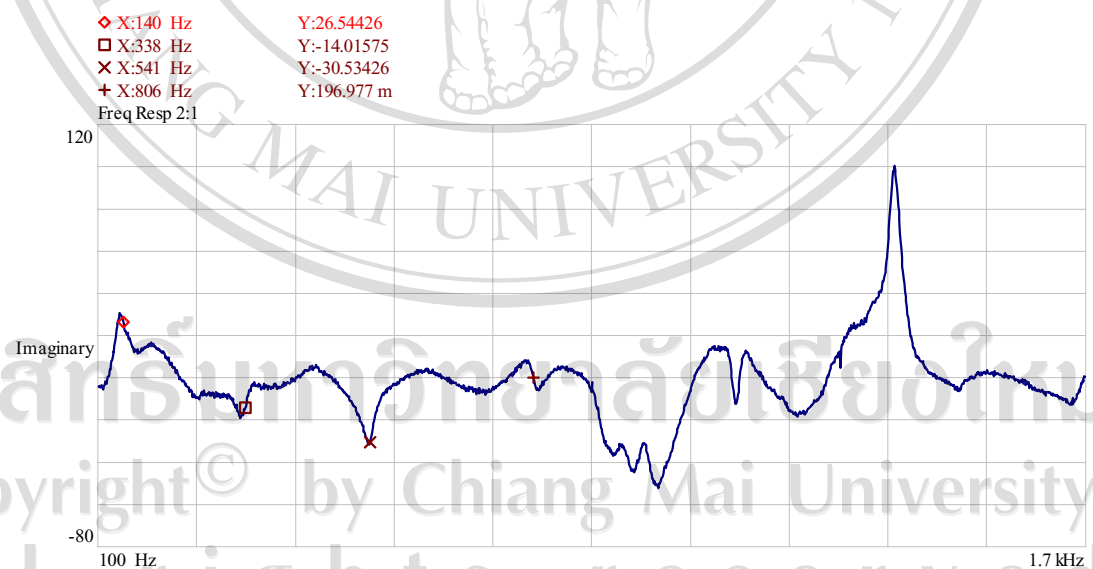
รูป ข.23 ผลการทดลองแสดงขนาดที่ตำแหน่ง 3-20



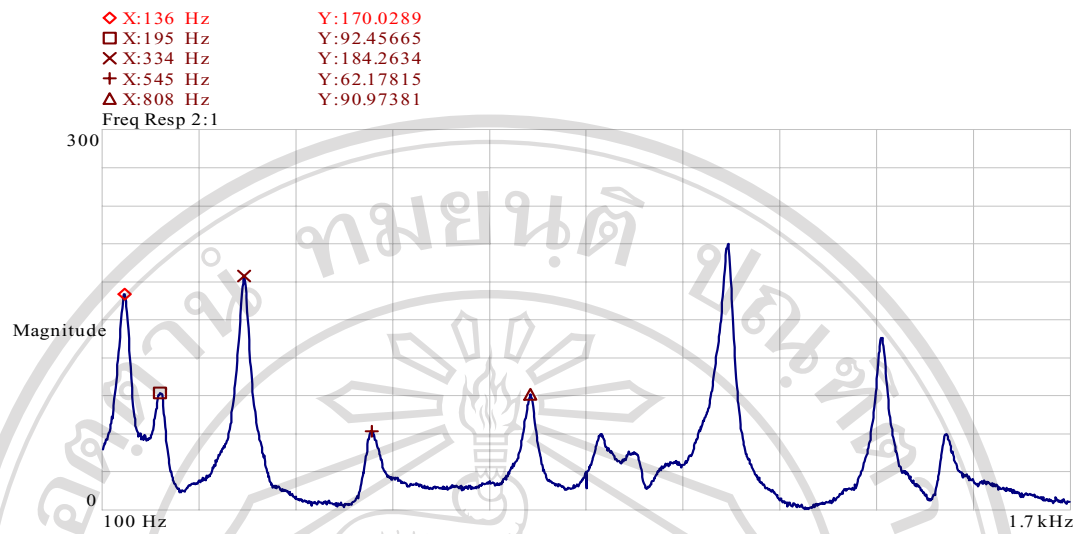
รูป ข.24 ผลการทดลองแสดงค่าจินตภาพที่ตำแหน่ง 3-20



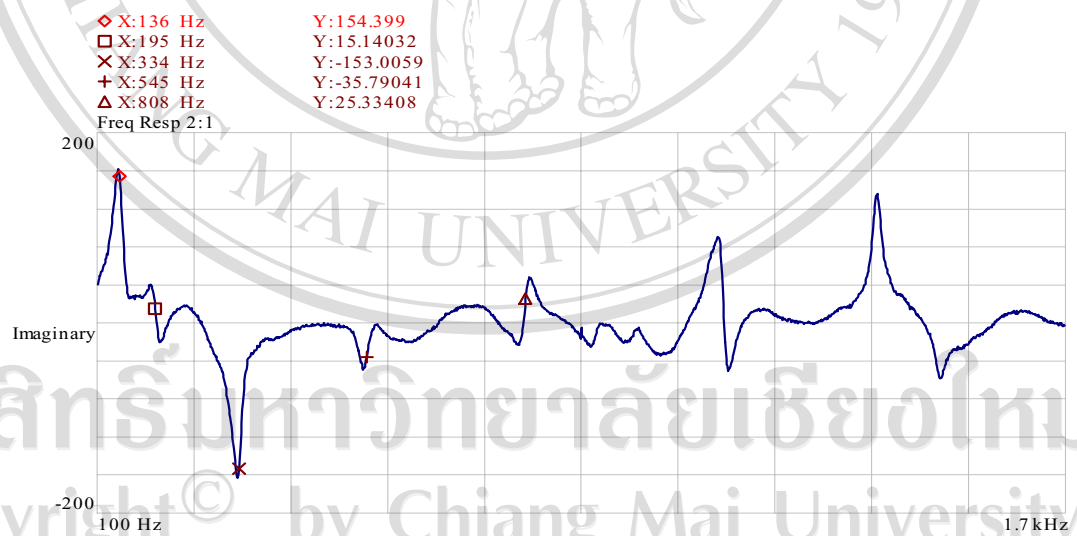
รูป ข.25 ผลการทดลองแสดงขนาดที่ตำแหน่ง 3-36



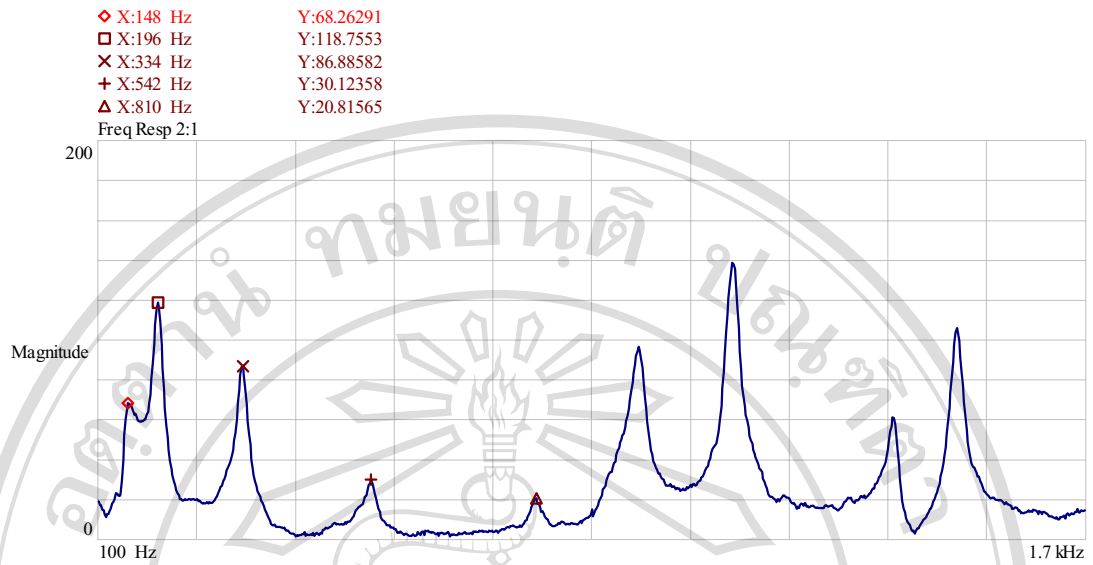
รูป ข.26 ผลการทดลองแสดงค่าจินตภาพที่ตำแหน่ง 3-36



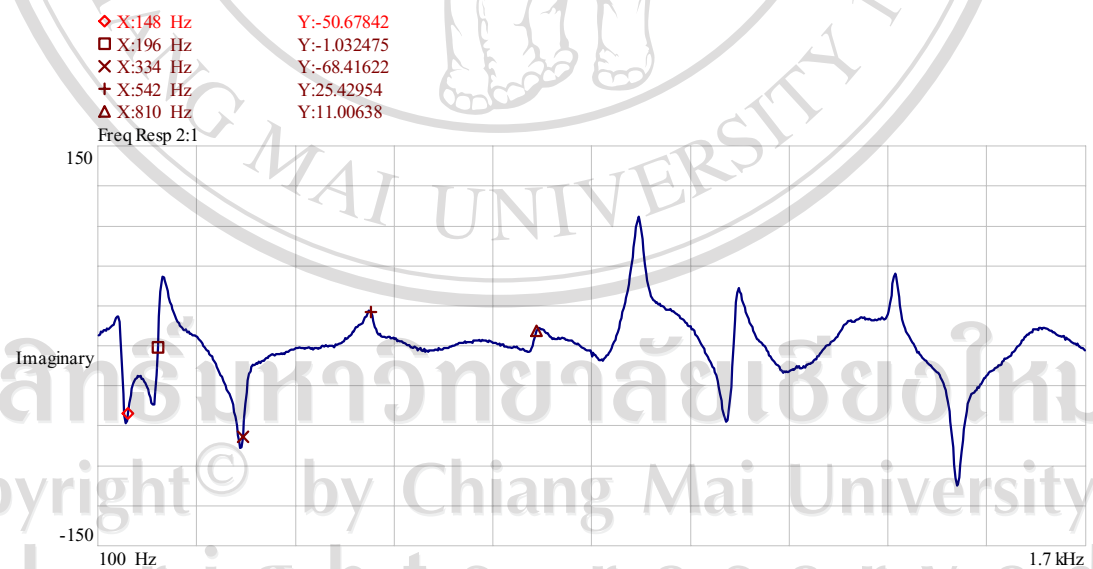
รูป ข.27 ผลการทดลองแสดงขนาดที่ตำแหน่ง 6-1



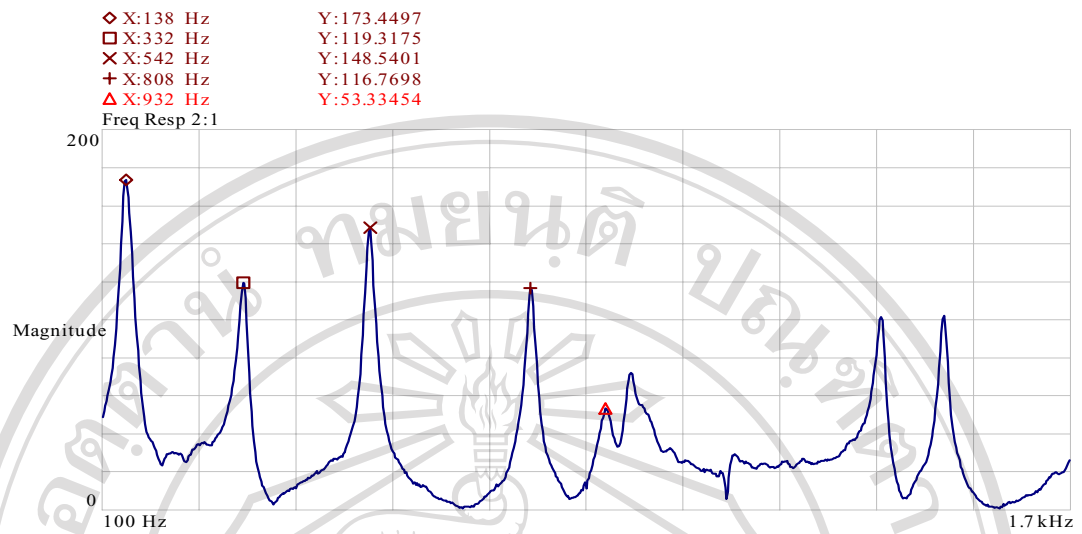
รูป ข.28 ผลการทดลองแสดงค่าจินตภาพที่ตำแหน่ง 6-1



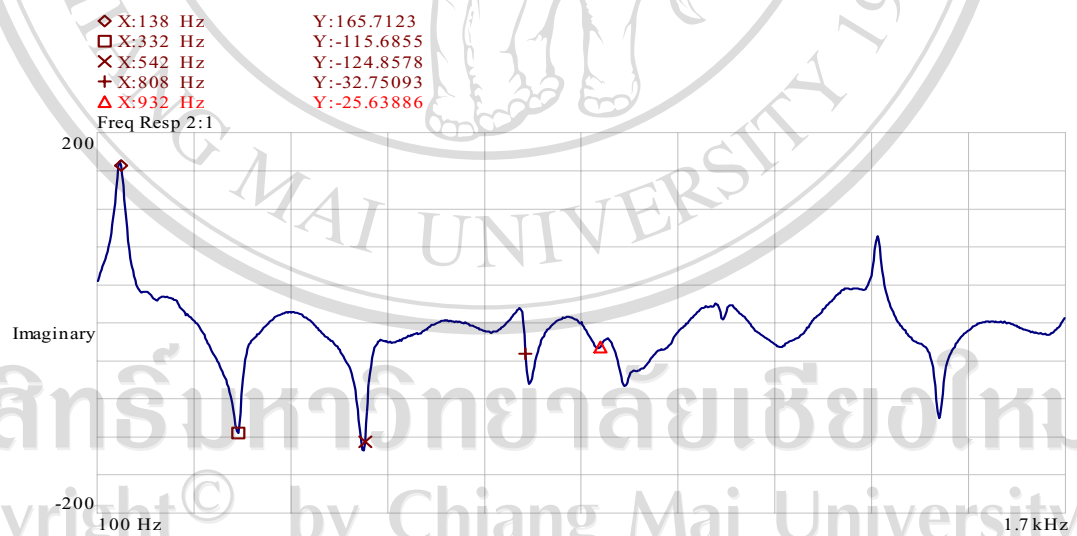
รูป ข.29 ผลการทดลองแสดงขนาดที่ตำแหน่ง 6-20



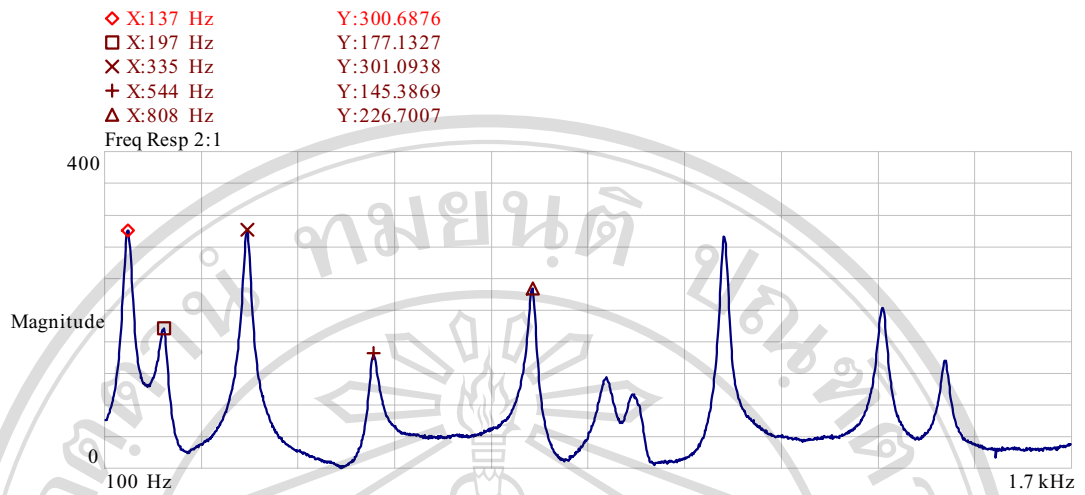
รูป ข.30 ผลการทดลองแสดงค่าจินตภาพที่ตำแหน่ง 6-20



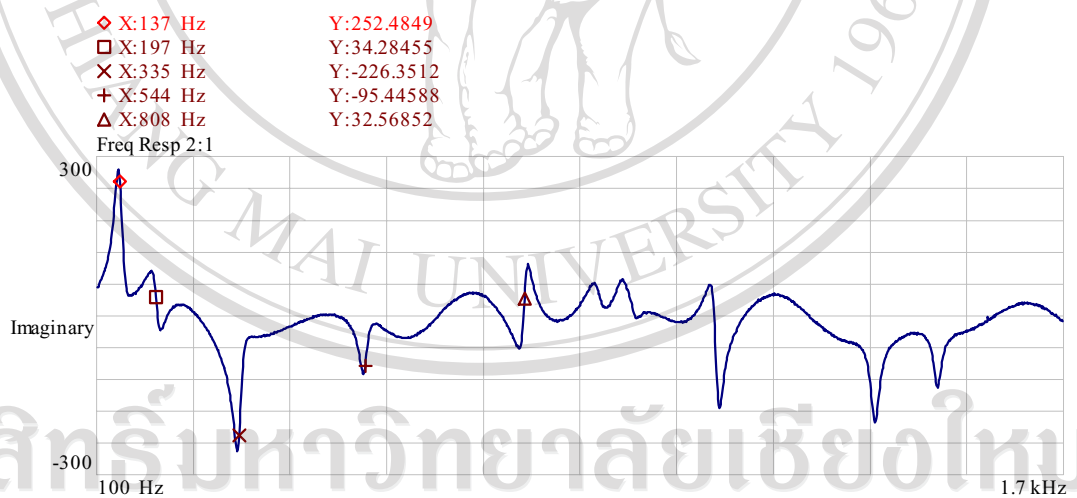
รูป ข.31 ผลการทดลองแสดงขนาดที่ตำแหน่ง 6-36



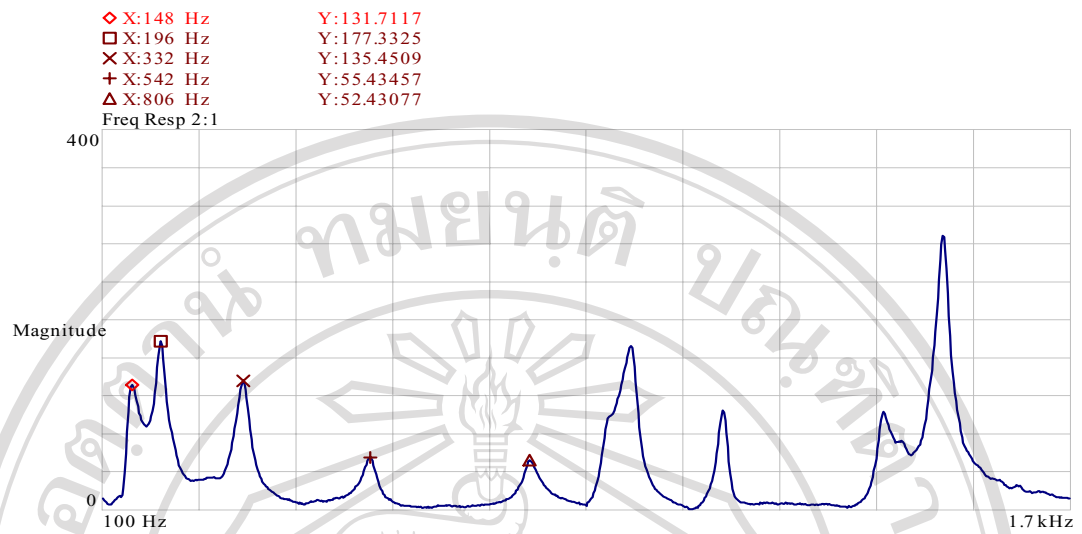
รูป ข.32 ผลการทดลองแสดงค่าจินตภาพที่ตำแหน่ง 6-36



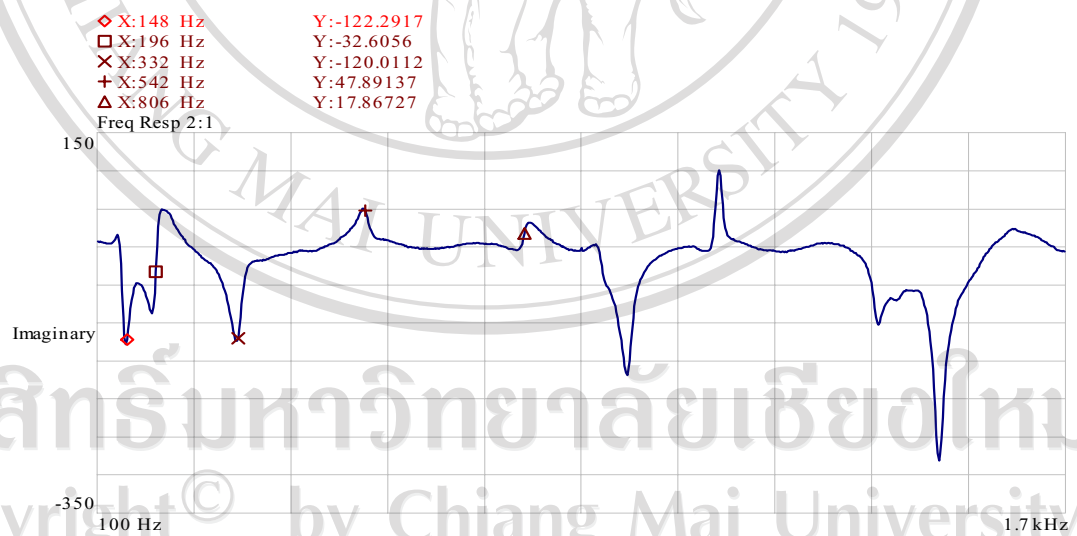
รูป ข.33 ผลการทดลองแสดงขนาดที่ตำแหน่ง 8-1



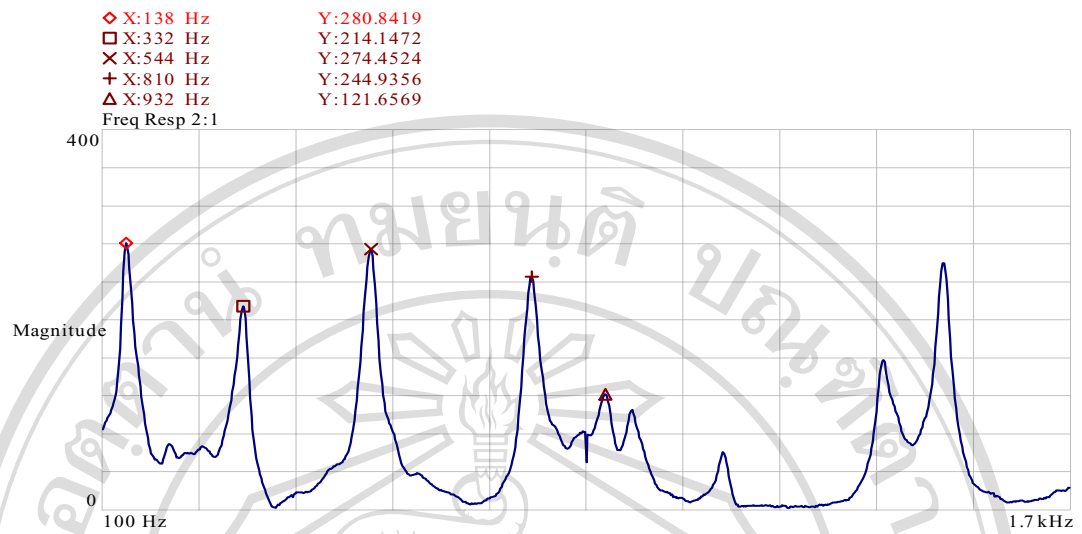
รูป ข.34 ผลการทดลองแสดงค่าจินตภาพที่ตำแหน่ง 8-1



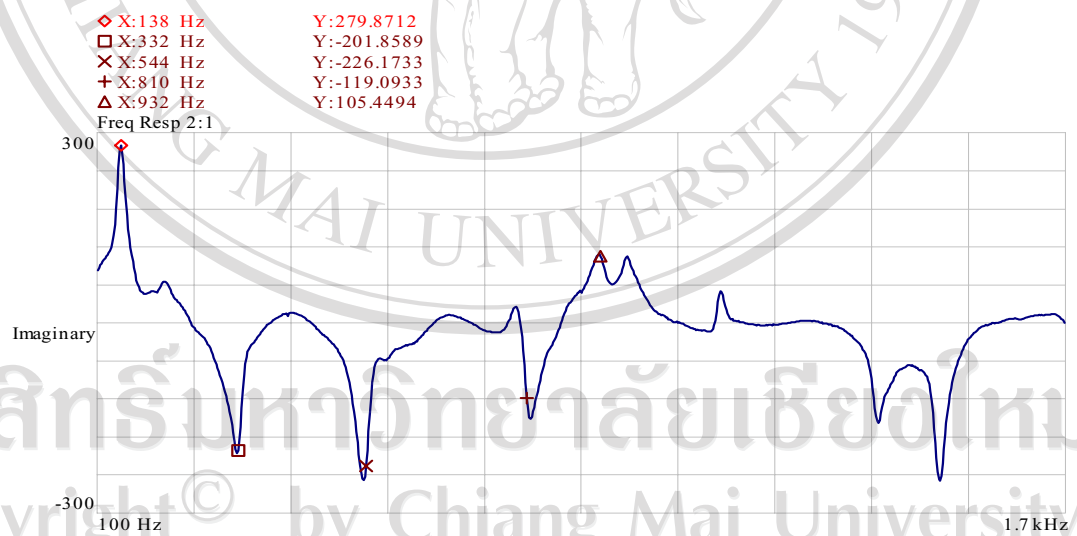
รูป ข.35 ผลการทดลองแสดงขนาดที่ตำแหน่ง 8-20



รูป ข.36 ผลการทดลองแสดงค่าจินตภาพที่ตำแหน่ง 8-20



รูป ข.37 ผลการทดลองแสดงขนาดที่ตำแหน่ง 8-36



รูป ข.38 ผลการทดลองแสดงค่าจินตภาพที่ตำแหน่ง 8-36



ภาคผนวก ค

ตัวอย่างการหาสมการรูปร่างโหนด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างการหาสมการรูปร่างโหมด

ค.1 ตัวอย่างการหาสมการรูปร่างโหมดของแผ่นบางรูปวงแหวน

จากวิธีเรย์เล่-ริทซ์การหาสมการเพื่อหาความถี่ธรรมชาติจำเป็นต้องสมมติรูปร่างโหมดขึ้นมา หากรูปร่างโหมดที่สมมตินั้นมีรูปร่างใกล้เคียงกับรูปร่างโหมดที่แท้จริงแล้วความถี่ธรรมชาติที่คำนวณได้ก็จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าแท้จริงมากขึ้น ดังนั้นการเลือกใช้สมการรูปร่างโหมดจึงได้เลือกใช้สมการจากกฎของนิวตัน เนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถหารูปร่างโหมดได้ใกล้เคียงมากที่สุด ขั้นตอนการหารูปร่างโหมดของแผ่นบางรูปวงแหวนขอบในรัศมี b และขอบนอกรัศมี a โดยสามารถแสดงให้อยู่ในรูปสมการอนุพันธ์ (Differential Equation) ของแผ่นวงกลมโดยไม่มีแรงภายนอกกระทำได้นี้

$$D\nabla^4 w + \rho h \ddot{w} = 0 \quad (\text{ค.1})$$

สำหรับการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกเมื่อ $w(r, \theta, t) = W(r, \theta) \sin \omega t$ สามารถเขียนสมการ (ค.1) ได้เป็น

$$\begin{aligned} \nabla^4 W - \frac{\rho h}{D} \omega^2 W &= 0 \\ (\nabla^2 W + \sqrt{\frac{\rho h}{D}} \omega W)(\nabla^2 W - \sqrt{\frac{\rho h}{D}} \omega W) &= 0 \\ (\nabla^2 + \Omega^2)(\nabla^2 - \Omega^2)W &= 0 \end{aligned} \quad (\text{ค.2})$$

$$\text{เมื่อ } \Omega^2 = \sqrt{\frac{\rho h}{D}} \omega$$

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \theta^2}$$

Ω คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความถี่ธรรมชาติ

จากสมการ (ค.2) สามารถเขียนผลเฉลยของสมการในรูปสมการเบสเซล (Bessel equation) ได้ดังนี้

$$W(r, \theta) = [A_{1n}J_n(\Omega r) + B_{1n}Y_n(\Omega r) + C_{1n}I_n(\Omega r) + D_{1n}K_n(\Omega r)]\sin n\theta \\ + [A_{2n}J_n(\Omega r) + B_{2n}Y_n(\Omega r) + C_{2n}I_n(\Omega r) + D_{2n}K_n(\Omega r)]\cos n\theta \quad (\text{ค.3})$$

จากนั้นสามารถจัดรูปสมการ (ค.3) ใหม่ได้โดยกำหนดความสัมพันธ์ดังนี้

$$\cos(n \in_n) = \frac{A_{1n}}{c_n} = \frac{B_{1n}}{\mu c_n} = \frac{C_{1n}}{\xi c_n} = \frac{D_{1n}}{\zeta c_n} \quad (\text{ค.4})$$

$$\sin(n \in_n) = \frac{A_{2n}}{c_n} = \frac{B_{2n}}{\mu c_n} = \frac{C_{2n}}{\xi c_n} = \frac{D_{2n}}{\zeta c_n} \quad (\text{ค.5})$$

เมื่อแทนสมการ (ค.4) และ (ค.5) ลงในสมการ (ค.3) และจัดรูปใหม่จะได้

$$W(r, \theta) = c_n[J_n(\Omega r) + \mu I_n(\Omega r) + \xi Y_n(\Omega r) + \zeta K_n(\Omega r)]\cos(n\theta - \in_n) \quad (\text{ค.6})$$

และสมการ (ค.4) สามารถจัดให้อยู่รูปใหม่ได้ดังสมการ (ค.5)

$$W(r, \theta) = \sum_{n=1}^k c_n W_n(r, \theta) \quad (\text{ค.5})$$

และ W_n เป็นสมการรูปร่างโหมดที่ n ดังสมการ (ค.6) ซึ่งเป็นสมการที่ได้จากการแก้สมการอนุพันธ์จากกฎของนิวตันอยู่ในรูปของฟังก์ชันเบสเซล (Bessel Function) ประกอบด้วยฟังก์ชันเบสเซลตัวแรก (Bessel function of first kind) $J_n(\Omega r)$, ฟังก์ชันแก้ไขเบสเซลตัวแรก (Modified Bessel function of first kind) $I_n(\Omega r)$, ฟังก์ชันเบสเซลตัวที่สอง (Bessel function of second kind) $Y_n(\Omega r)$ และฟังก์ชันแก้ไขเบสเซลตัวที่สอง (Modified Bessel function of second kind) $K_n(\Omega r)$

$$W_n(r, \theta) = [J_n(\Omega r) + \mu I_n(\Omega r) + \xi Y_n(\Omega r) + \zeta K_n(\Omega r)]\cos(n\theta) \quad (\text{ค.6})$$



ภาคผนวก ง

ตัวอย่างการหาความถี่ธรรมชาติ และผลการคำนวณ

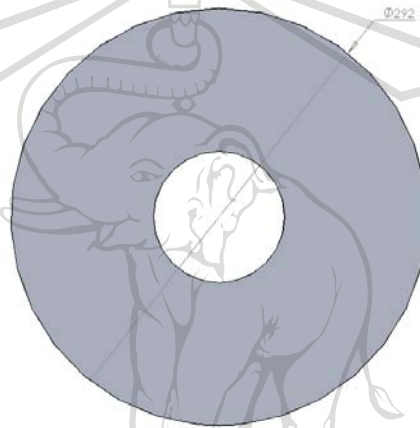
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ง

ตัวอย่างการคำนวณความถี่ธรรมชาติ และผลการคำนวณ

ง.1 ตัวอย่างการหาความถี่ธรรมชาติ ของแผ่นบางรูปวงแหวน เจือไนโซบในแบบยึดแน่น และ ขอบนอกปล่อยอิสระ



รูป ง.1 แผ่นบางรูปวงแหวน

หาความถี่ธรรมชาติในโหมด 1 จากสมการ (3.19 ก)

$$\omega_1 = \omega_{10} = \frac{6.873}{a^2} \sqrt{\frac{D}{\rho h}} \quad \text{และ} \quad D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$$

ดังนั้น

$$\omega_1 = \omega_{10} = \frac{6.873}{a^2} \sqrt{\frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)\rho h}} \quad (ง.1)$$

โดย $E=2.137 \times 10^{11}$ Pa

$$h=0.0020 \text{ m}$$

$$\nu=0.3$$

$$\rho=6945 \text{ kg/m}^3$$

$$a=0.1460 \text{ m}$$

แทนค่าลงในสมการ (ง.1)

$$\omega_1 = \omega_{10} = \frac{6.873}{0.1460^2} \sqrt{\frac{(2.137 \times 10^{11})(0.0020^3)}{12(1-0.3^2)(6945)(0.0020)}} \quad (\text{ง.2})$$

จะได้

$$\omega_1 = 1082.6 \text{ เรเดียนต่อวินาที}$$

จาก $f = \frac{\omega}{2\pi}$

$$f = \frac{1082.6}{2 \times \left(\frac{22}{7}\right)} = 172.3 \text{ เฮิรตซ์}$$

ดังนั้นความถี่ธรรมชาติโหมด 1 ของแผ่นบางรูปวงแหวนมีค่า 172 เฮิรตซ์

ง.2 ตัวอย่างการหาความถี่ธรรมชาติ ของแผ่นบางรูปวงแหวน เจือปนไขขอบในแบบยึดยึดหยุน และ ขอบนอกปล่อยอิสระ

หาความถี่ธรรมชาติใน โหมด 1 จากสมการ (3.27 ก)

$$\omega_1 = \omega_{1,0} = \frac{5.740}{a^2} \sqrt{\frac{D}{\rho h}}$$

และ

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$$

ดังนั้น

$$\omega_1 = \omega_{10} = \frac{5.740}{a^2} \sqrt{\frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)\rho h}} \quad (\text{ง.3})$$

โดย $E=2.137 \times 10^{11}$ Pa

$$h=0.0020 \text{ m}$$

$$\nu=0.3$$

$$\rho=6945 \text{ kg/m}^3$$

$$a=0.1460 \text{ m}$$

แทนค่าลงในสมการ (ง.3)

$$\omega_1 = \omega_{10} = \frac{5.740}{0.1460^2} \sqrt{\frac{(2.137 \times 10^{11})(0.0020^3)}{12(1-0.3^2)}} \quad (ง.4)$$

จะได้

$$\omega_1 = 904.1 \text{ เรเดียนต่อวินาที}$$

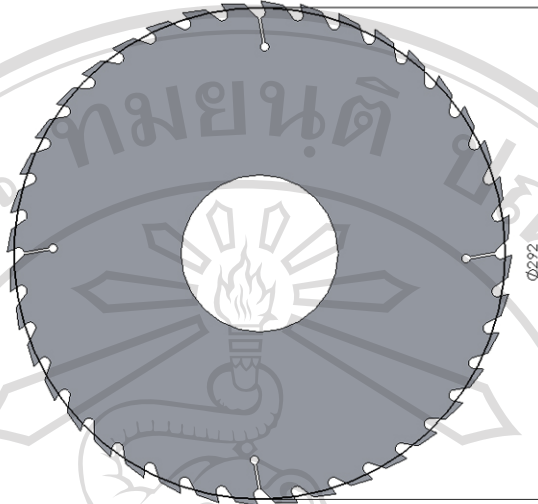
จาก $f = \frac{\omega}{2\pi}$

$$f = \frac{904.1}{2 \times \left(\frac{22}{7}\right)}$$

$$= 143.9 \text{ เฮิรตซ์}$$

ดังนั้นความถี่ธรรมชาติโหมด 1 ของแผ่นบางรูปวงแหวนเงื่อนไขขอบในแบบยึดยึดหยุ่นและขอบนอกปล่อยอิสระมีค่า 144 เฮิรตซ์

ง.3 ตัวอย่างการหาความถี่ธรรมชาติ ของใบเลื่อยวงเดือนเงื่อนไขขอบในแบบยึดยึดหย่อน และขอบนอกปล่อยอิสระ



รูป ง.2 ใบเลื่อยวงเดือนขนาด 300 มิลลิเมตร และแสดงขนาดวงพิทช์ 292 มิลลิเมตร

หาความถี่ธรรมชาติในโหมดที่ 1 จากสมการ (3.27 ก)

$$\omega_1 = \omega_{1,0} = \frac{5.740}{a^2} \sqrt{\frac{D}{\rho h}}$$

และ

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$$

ดังนั้น จากสมการ (ง.3)

$$\omega_1 = \omega_{1,0} = \frac{5.740}{a^2} \sqrt{\frac{Eh^3}{12(1-\nu^2) \rho h}}$$

โดย $E=2.137 \times 10^{11}$ Pa

$h=0.0020$ m

$\nu=0.3$

$\rho=7695$ kg/m³

$a=0.1460$ m

แทนค่าลงในสมการ (ง.3)

$$\omega_1 = \omega_{10} = \frac{5.740}{0.1460^2} \sqrt{\frac{(2.137 \times 10^{11})(0.0020^3)}{12(1-0.3^2)(7695)(0.0020)}} \quad (ง.5)$$

จะได้

$$\omega_1 = 858.6 \text{ เรเดียนต่อวินาที}$$

จาก $f = \frac{\omega}{2\pi}$

$$f = \frac{858.6}{2 \times \left(\frac{22}{7}\right)}$$

$$= 136.7 \text{ เฮิรตซ์}$$

ดังนั้นความถี่ธรรมชาติโหมด 1 ของใบเลื่อยวงเดือนมีค่า 137 เฮิรตซ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ง.4 ผลการคำนวณความถี่ธรรมชาติของแผ่นบางรูปวงแหวนโดยวิธีเรย์เล่-ริทซ์

ผลเฉลยเชิงตัวเลขของความถี่ธรรมชาติสำหรับแผ่นบางรูปวงแหวนจำนวน 6 โหมดแรก จากสมการ (3.19) เมื่อแทนคุณสมบัติเชิงกล และคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น มอดูลัสของยัง อัตราส่วนปัวซอง ความหนาแน่น ความหนาของแผ่นบาง และขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางขอบนอกลงในสมการ (3.19) จะได้ค่าความถี่ธรรมชาติ 6 โหมดแรก ดังตาราง ง.1

ตาราง ง.1 ความถี่ธรรมชาติ 6 โหมดแรกของแผ่นบางรูปวงแหวน และค่าคลาดเคลื่อน

โหมด(n,m)	การทดลอง (เฮิร์ตซ์)	การคำนวณ (เฮิร์ตซ์)	ค่าคลาดเคลื่อน (เปอร์เซ็นต์)
1(1,0)	144	172	19.4
2(0,0)	-	174	-
3(2,0)	196	207	5.6
4(3,0)	332	337	1.5
5(4,0)	540	555	2.8
6(5,0)	808	841	4.1

ความถี่ธรรมชาติของแผ่นบางรูปวงแหวนเมื่อแก้ไขเงื่อนไขขอบให้เป็นเงื่อนไขขอบแบบยึดยึดหยุ่น และกำหนดให้ค่า β เท่ากับ 0.19 และแสดงการคำนวณจากสมการ (3.27) ในตาราง ง.2

ตาราง ง.2 ความถี่ธรรมชาติ 6 โหมดแรกของแผ่นบางรูปวงแหวนซึ่งแก้ไขเงื่อนไขขอบเป็นแบบยึดยึดหยุ่น

โหมด(n,m)	การทดลอง (เฮิร์ตซ์)	การคำนวณ (เฮิร์ตซ์)	ค่าคลาดเคลื่อน (เปอร์เซ็นต์)
1(1,0)	144	144	0
2(0,0)	-	148	-
3(2,0)	196	186	5.1
4(3,0)	332	328	1.2
5(4,0)	540	552	2.2
6(5,0)	808	841	4.1

ง.5 ผลการคำนวณความถี่ธรรมชาติของใบเลื่อยวงเดือนโดยวิธีเรย์เล่-ริทซ์

จากผลการคำนวณของแผ่นบางรูปวงแหวนซึ่งมีเงื่อนไขขอบในแบบยึดยึดหยุ่น และขอบนอกปล่อยอิสระซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการทดลอง จึงได้นำสมการที่ได้มาใช้ในการคำนวณหาความถี่ธรรมชาติของใบเลื่อยวงเดือน โดยใช้ระยะพิทช์ของใบเลื่อยคือ 292 มิลลิเมตร และใช้ค่ามอดุลัสของยัง 213 จิกะปาสกาล แทนลงในสมการ (3.27) ได้ผลการคำนวณดังตาราง ง.3

ตาราง ง.3 ความถี่ธรรมชาติ 6 โหมดแรกของใบเลื่อย เปรียบเทียบกับแผ่นวงแหวน

โหมด(n,m)	ใบเลื่อยวงเดือน (เฮิร์ตซ์)	แผ่นวงแหวน (เฮิร์ตซ์)	ค่าคลาดเคลื่อน (เปอร์เซ็นต์)
1(1,0)	136	137	0.7
2(0,0)	-	140	-
3(2,0)	172	176	2.3
4(3,0)	276	311	12.7
5(4,0)	444	525	18.2
6(5,0)	644	799	24.1



ภาควิชา
คำศัพท์อังกฤษ-ไทยที่ใช้ในงานวิจัย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก จ

คำศัพท์อังกฤษ-ไทยที่ใช้ในงานวิจัย

ศัพท์อังกฤษ

Analog
Bessel equation
Bessel function
Deformation
Differential equation
Dynamic signal analyzer
Eigen extraction
Eigenvalue
Elastically clamp boundary
Element
Equilibrium state
Frequency equation
Frequency coefficients
Flexural rigidity
Global equation
Harmonic vibrations
Homogeneous
Imaginary
Impulse hammer
In-plane
Isotropic material
Kinetic energy

ศัพท์ไทย

แอนะล็อก
สมการเบสเซล
ฟังก์ชันเบสเซล
การเสียรูป
สมการอนุพันธ์
ไดนามิกส์สัญญาณไดเซอร์
การสกัดค่าเฉพาะ
ค่าเฉพาะ
เงื่อนไขขอบแบบยึดยึดหยุ่น
เอลิเมนต์
สถานะสมดุล
สมการความถี่
ค่าสัมประสิทธิ์ความถี่ธรรมชาติ
ค่าความแกร่ง
สมการรวม
การสั่นแบบฮาร์โมนิก
เอกพันธ์
ค่าจินตภาพ
ค้อนอิมพัลส์
แนวระนาบ
วัสดุที่มีคุณสมบัติทางกลศาสตร์เหมือนกันใน
ทุกทิศทาง
พลังงานจลน์

ศัพท์อังกฤษ

Lanczos

Linear elastic

Local equation

Magnitude

Mesh

Mode shape

Middle plane

Nodal circles

Nodal diameters

Node

Poisson's ratio

Post-processing

Potential Energy

Pre-processing

Processing

Rayleigh-Ritz

Rayleigh-Ritz method

Rayleigh's Quotient

Resonance

Rotational

Scanning

Standard

Stress

Strain

Wave propagation

ศัพท์ไทย

ลั้งโซส

ยืดหยุ่นเชิงเส้น

สมการเฉพาะ

ขนาด

แบ่ง

รูปร่างโหมด

ระนาบกึ่งกลางแผ่น

โหนดเส้นผ่านศูนย์กลาง

โหนดวงแหวน

จุดต่อ

สัดส่วนของปัวซอง

หลังการประมวลผล

พลังงานศักย์

ก่อนการประมวลผล

การประมวลผล

เรย์เล-ริทซ์

วิธีเรย์เล-ริทซ์

ผลหารของเรย์เล

การสั่นพ้อง

การหมุน

การกวาด

มาตรฐาน

ความเค้น

ความเครียด

การแพร่กระจายของคลื่น

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นายรัชันท์ รามัญญ์
 วัน เดือน ปี เกิด 23 พฤษภาคม 2522
 ประวัติการศึกษา สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมต้น จากโรงเรียนมงฟอร์ตวิทยาลัย เชียงใหม่
 ปีการศึกษา 2537
 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลาย จากโรงเรียนยุพราชวิทยาลัย เชียงใหม่
 ปีการศึกษา 2540
 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา
 วิศวกรรมเครื่องกล จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 ปีการศึกษา 2544

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 Copyright© by Chiang Mai University
 All rights reserved